

城市垃圾填埋场渗滤液处理方案*

Analyses on the Treatment Schemes of Municipal Solid Waste Landfill Leachate

沈耀良 (苏州城建环保学院, 苏州 215011)

Shen Yaoliang (Suzhou Institute of Urban Construction and Environmental Protection, Suzhou 215011)

王宝贞 (哈尔滨建筑大学, 哈尔滨 150088)

Wang Baozhen (Harbin University of Civil Engineering and Architecture, Harbin 150008)

杨铨大 (苏州城建环保学院, 苏州 215011)

Yang Quanda (Suzhou Institute of Urban Construction and Environmental Protection, Suzhou 215011)

王惠民 (河海大学, 南京 210098)

Wang Huimin (Hehai University, Nanjing 210098)

摘要 对垃圾渗滤液处理的场内、场外处理方案技术进行了介绍和分析,并结合我国实际,提出了场内和物化预处理—场外与城市污水合并处理的经济合理的渗滤液处理方案。

关键词 渗滤液 处理方案 比较分析

Abstract Analyses on the different schemes and technologies including in situ and out of site treatment of landfill leachate were conducted and it was proposed that the in situ physical-chemical pretreatment followed by combined biological treatment of leachate with municipal wastewater in municipal sewage plant would be the economical and reasonable way for leachate treatment.

Keywords Landfill leachate Treatment scheme Analysis

1 前言

垃圾填埋场渗滤液的处理技术既有与常规废水处理技术的共性,也有其极为显著的特殊性。渗滤液的处理有场内和场外两大类处理方案。具体方案有以下几种:(1)直接排入城市污水处理厂进行合并处理;(2)渗滤液向填埋场的循环喷洒处理;(3)经必要预处理后汇入城市污水处理厂合并处理;(4)在填埋场建设污水处理站(厂)进行独立处理。

这些处理方案须在充分的技术经济比较和处理可行性研究的基础上加以合理而慎重的选用。通常有两方面的问题必须首先加以研究。一是采用何种处理方案,其次是采用什么样的处理工艺方法。现就前一问题进行分析探讨。

2 与城市污水厂的合并处理(场外处理)

渗滤液与规模适当的城市污水处理厂合并处理是最为简单的处理方案,它可以节省单独建设渗滤液处理系统的大额费用,还可以降低处理成本,利用污水处理厂对渗滤液的缓冲、稀释作用和城市污水中的营养物质实现渗滤液和城市污水的同时处理。但这并非普遍适用的方法。一方面,由于垃圾填埋场往往远离城市污水处理厂,渗滤液的输送将造

成较大的经济负担;另一方面,由于渗滤液所特有的水质及其变化特点,在采用此种方案时,如不加控制,易造成对城市污水处理厂的冲击负荷,影响甚至破坏城市污水处理厂的正常运行。因而,在考虑合并处理方案时,必须研究其工艺上的可行性。对采用传统活性污泥工艺的城市污水处理厂而言,不同污染物浓度渗滤液量与城市污水处理厂的规模的比例是决定其可行性的的重要因素。有研究表明,当渗滤液的 COD 浓度为 24 000 mg/L 时,须严格控制上述比例。当两者体积比达 4%~5% 时,城市污水处理厂的运行将受到影响,导致污泥膨胀问题;当渗滤液的 COD 浓度为 3 500 mg/L 时,上述比例一般不得超过 40%,否则须通过延长污泥龄的方法来保证处理系统中活性污泥的数量。为保证处理效果,可通过增加曝气池中污泥浓度或扩大处理设施容积加以解决。但泥龄过长时,往往因污泥的活性低而影响处理效果,而扩大处理设施容积会带来投资的不经济。实践表明,采用厌氧(ABR)(水解酸化)—活性污泥法处理渗滤液与城市污水的混合废水,当原渗滤液的 COD 浓度分别为 3 700~4 500 mg/L 和 6 500~9 000 mg/L 时,为保证系统的处理

* 江苏省“青蓝工程”跨世纪学科带头人和苏州城建环保学院科研基金资助项目。

出水水质,宜将混合比分别控制在4:6和2:8^[1]。

据报道^[2],延时曝气活性污泥系统可有效地处理渗滤液和生活污水的混合废水,SBR系统处理混合废水时可达85%~90%和90%的TOC和BOD去除率。经驯化后的活性污泥,在处理过程中不管是否投加葡萄糖或其它营养元素,可使渗滤液中的有机物去除80%,渗滤液和城市污水混合4h后污泥生物即发生降解作用,若增加曝气池中的污泥浓度,反应时间可进一步缩短。运行过程中废水的COD去除率一直比较稳定,且无需另外添加营养物质,具有良好的经济性。但该研究并未明确渗滤液与城市污水的比例。目前,国内的垃圾填埋场多未建设场内的独立渗滤液处理系统,大多将渗滤液直接汇入城市污水处理厂进行合并处理,往往影响污水厂的正常运行。如苏州七子山垃圾填埋场在运行初期,将渗滤液收集后直接送至当时(1993年)处理规模为5000 m³/d的苏州城西污水处理厂。虽当时因渗滤液的产生量较小而并未对原有系统的正常运行造成危害,但随着渗滤液量的增加(由占该厂处理能力的16.7%增加至48%,渗滤液的COD浓度为3500~6000 mg/L),污水处理厂(活性污泥处理工艺)的运行受到严重干扰。渗滤液停止引入后该厂运行得到恢复。

3 循环喷洒处理(场内处理)

渗滤液循环喷洒是一种较为有效的处理方案。通过回喷可提高垃圾层的含水率(由20%~25%提高到60%~70%),增加垃圾的湿度,增强垃圾中微生物的活性,提高产甲烷的速率、垃圾中污染物的溶出及有机物的分解。其次,通过回喷,不仅可降低渗滤液的污染物浓度,还可以因喷洒过程中挥发等作用而减少渗滤液的产生量,对水量和水质起稳定化的作用,有利于废水处理系统的运行,节省费用。Robinson和Maris等人的研究表明,将渗滤液收集并通过回灌使之回到填埋场,除有上述作用外,还可以加速垃圾中有机物的分解,缩短填埋垃圾的稳定化进程(使原需15~20年的稳定过程缩短至2~3年)^[3]。Chian等人报道,通过回流循环,渗滤液的BOD₅和COD可分别降至30~350 mg/L和70~500 mg/L^[4]。北英格兰的Seamer Carr垃圾填埋场将一部分渗滤液循环喷洒,20个月后喷洒区渗滤液的COD浓度有明显降低,金属浓度则大幅度下降,NH₄⁺-N浓度基本保持不变,说明金属离子浓度的下降不仅由稀释作用引起,垃圾中无机物的吸附作用也不可忽视^[5]。

美国Pohland等人把垃圾填埋场看作生物反应器(Bioreactor)进行了深入的渗滤液喷洒回灌研

究^[6]。在采用喷洒处理方案时,必须注意喷洒的方式和喷洒的量。一方面,喷洒的渗滤液量应根据垃圾的稳定化进程而逐步提高。一般在填埋场处于产酸阶段早期时,回喷的渗滤液量宜少不宜多,在产气阶段则可以逐渐增加。由于垃圾填埋场本身是一个生物反应器,因而回灌的渗滤液量除可根据其最佳运行的负荷要求确定外,还可以根据填埋场的产气情况来确定。另一方面,填埋场内不同位置的垃圾可能处于不同的稳定化阶段,因而为保证喷洒的应有效果,应将稳定化程度高的垃圾层区(产甲烷区)所排出的渗滤液回喷至新填入的垃圾层(产酸区),而将新垃圾层所产生的渗滤液回喷至老的稳定化区,这样有利于加速污染物的溶出和有机污染物的分散,同时加速垃圾层的稳定化进程。典型的渗滤液喷洒系统(生物反应器)如图1所示。

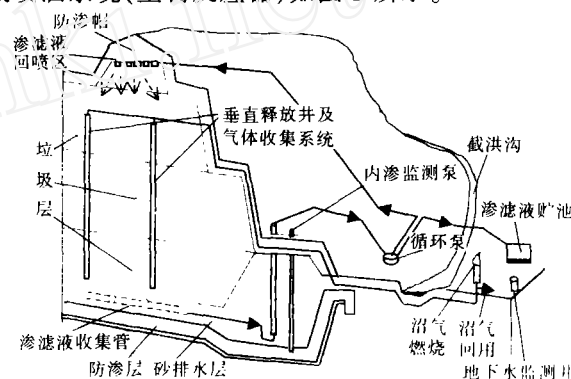


图1 典型的渗滤液喷洒回灌(生物反应器)系统

渗滤液循环喷洒处理法的提出已有多多年,但其实际应用则是近10多年的事。目前美国已有200多座垃圾填埋场采用了此技术。该方法除具有加速垃圾的稳定化、减少渗滤液的场外处理量、降低渗滤液污染物浓度等优点外,还有比其它处理方案更为节省的经济效益。Pohland以每公顷填埋场的年总费用单位(Total Annual Cost Units, TACU—包括垃圾处理 and 渗滤液处理的投资及运转费用)对渗滤液处理的不同方案所作的经济比较表明,喷洒循环法可比其它方法节省一个平均TACU,是最省的方法。Mosher等人的研究表明,渗滤液回灌喷洒处理不仅缩短了Keele Valley填埋场的稳定化进程及沼气的产生时间,而且增加了填埋场的有效库容量、促进了垃圾中有机化合物的降解^[7]。

虽然渗滤液的场内喷洒处理法有前述诸多优点,但至少还存在以下两个问题:(1)不能完全消除渗滤液。由于喷洒或回灌的渗滤液量受填埋场特性的限制,因而仍有大部分渗滤液须外排处理;(2)通过喷洒循环后的渗滤液仍需处理后排放,尤其是由于渗滤液在垃圾层中的循环,导致其NH₄⁺-N不断积累,甚至最终使其浓度远高于其在非循环(Single

Pass Leaching) 渗滤液中的浓度^[6, 8]。第一个问题是由此方法的特性决定的。第二个问题是如将含高浓度 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的渗滤液作场外处理, 则增加额外处理费用。为解决此问题, Onay 等人开展了场内处理的研究^[9]。他们根据硝化(N)和反硝化(DN)原理及渗滤液喷洒后在垃圾层中流态, 提出了缺氧(An) → 厌氧(A) → 好氧(O) → 缺氧(An)的三组分模拟垃圾填埋系统(如图2所示)。图中位于上部的缺氧区和底部的好氧区用于 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的转化和去除, 中间的厌氧区用于产气。该模型运行时, 通过渗滤液的循环, 将脱氮过程所需要的碳源和硝态氮从底部的好氧区送至顶部的缺氧区, 而厌氧区中残留的 C 和 N 则相应地送至好氧区, 从而实现硝化和反硝化, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的转化率达 95%。同时, 渗滤液中硫化物也可得到有效的去除。

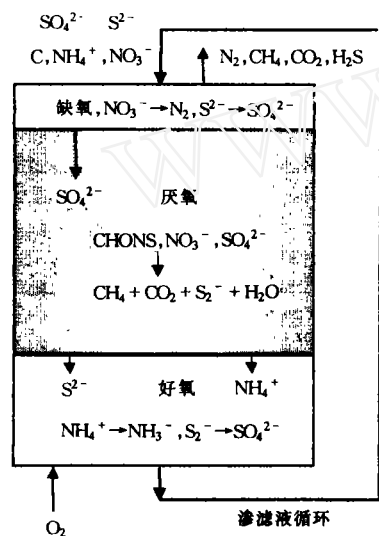


图2 渗滤液场内硝化—反硝化结构模型

渗滤液循环喷洒的场内处理方法在我国的应用并不多见, 除了上述两个原因及我国处于垃圾填埋技术应用的初级阶段外, 尚有在回喷过程中所带来的环境卫生问题、安全及设计技术问题^[10]。在采用循环喷洒技术时, 要求在填埋场的顶部有部分敞开便于设立规则性排列的沟道及回喷配水系统; 回喷后所排出的中低浓度的渗滤液仍需经进一步处理后才能排放。

4 预处理—合并处理(场内—场外处理)

预处理—合并处理是基于减轻进行直接混合处理时渗滤液中有害有毒物对城市污水处理厂的冲击危害而采取的一种场内外联合处理方案。渗滤液首先在填埋场内的预处理设施进行处理, 以去除渗滤液中的重金属离子、氨氮、色度以及 SS 等污染物质或通过厌氧处理以改善其可生化性、降低负荷, 为合并处理正常运行创造良好的条件。

对于“年轻”和“老年”的混合型垃圾填埋场(指垃圾中含有一定数量的工业废弃物)产生的渗滤液及城市污水处理厂规模较小而采用合并处理时的情形, 进行物理化学等预处理去除渗滤液中的重金属离子、氨氮等尤为必要。渗滤液中不仅含有多种金属或重金属离子, 而且含量较高。但无论采用何种处理方案, 生物处理是渗滤液的一种主体处理方法。无论是厌氧处理还是好氧处理, 有机污染物的去除或转化均是通过微生物的作用完成的, 因而微生物在处理工艺设施的良好生长繁殖是保证处理效果的前提。为使微生物正常生长, 除了使其物化环境中含有可降解的有机基质及必要的营养物存在外, 还须保证废水中适量的营养物质和微量元素。营养物质确定的主要依据是微生物细胞的化学组成。渗滤液中主要营养物质的实际含量大多远高于微生物所需的浓度, 从而若不作适当的预处理则将给生物处理造成危害。

化学物质对微生物活性的影响与其浓度有密切的关系。大多数化学物质在浓度很低时对生物活性有一定的刺激作用(或促进作用); 当浓度较高(超过临界浓度)时则产生抑制作用, 且浓度愈高抑制作用愈强烈。研究表明, 几乎所有微生物的生长都离不开钾、镁、钙、钠、铁、锰、钴、铜、镍、锌、钼和钒等金属元素。当这些金属适量存在时, 对于微生物的生长具有作为酶催化剂、在氧化还原反应中传递电子(将 ADP 转化为 ATP)以及调节微生物渗透压等作用。若在处理过程中, 这些痕量元素的含量不足, 可引起污泥的膨胀^[11]。但对于年轻填埋场的渗滤液, 其所含重金属离子浓度的高限要远超过重金属元素对微生物毒害作用的最低限值(如好氧条件下: 汞 0.01 mg/L、镉 0.1 mg/L、铜 1.0 mg/L、六价铬 0.01 mg/L、镍 0.1~1 mg/L 等), 因而其对微生物的不良影响则是毒害作用。中科院生态环境研究中心在半连续投料及完全混合方式条件下对铬、铜、镍、铅和锌等重金属的抑制作用的研究表明, 在厌氧条件下上述各离子的抑制浓度分别为 0.4~1.0, 0.5~2.0, 2.5~4.0, 0.1~0.3 和 0.7~1.2 mg/L, 毒性大小的次序大致为铅>铬>铜>锌>镍。此外, 当几种重金属离子共存时所产生的毒性要比单独存在时大, 亦即污泥对混合离子协同作用的承受能力要比任一个离子的承受能力低^[12]。

有关渗滤液中重金属离子及 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除的预处理工艺已有较多的研究报道^[12~15]。重金属离子的去除多采用物理化学法, 而 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除除吹脱等物理化学方法外, 可结合合并生物处理工艺系统的设计加以考虑。

渗滤液中高浓度的 NH_4^+-N 是影响渗滤液生物处理的另一重要因素。过高的 NH_4^+-N 浓度将抑制微生物的正常生长及合并处理的有效运行。同时传统的生物处理工艺难以有效地去除 NH_4^+-N 。因而须进行预处理或采用具有生物脱氮功能的 $\text{A}/\text{A}_n/\text{O}$ (或 A/O) 处理系统才能有效地将其去除。

5 建设独立的场内完全处理系统

由于城市垃圾填埋场通常位于离城市较远的偏远山谷地带,当城市污水处理厂离填埋场较远时,采用与城市污水处理厂合并处理的方案往往因渗滤液远距离输送的费用较高而不经济,此时建设场内独立的完全处理系统便成为一种可资选择的方案。但由于渗滤液的污染负荷很高,尤其是有毒有害物含量较高,因而其处理工艺系统须为多种处理方法的有机组合。目前多采用如图3所示的处理工艺流程。

渗滤液 → 预处理 → 生物处理 → 后处理 → 处理出水

图3 典型的渗滤液场内独立处理系统

建设场内独立处理系统困难在于:(1) 渗滤液的水质随填埋场年龄的变化而有较大的变化,在考虑其处理时必须采用抗冲击负荷能力和适应性强的工艺系统。对于“年轻”填埋场渗滤液宜于采用生物处理工艺,而对“老年”填埋场渗滤液,则宜采用物化处理。因而其处理工艺流程操作管理复杂,运行效果难以得到长期的保证;(2) 渗滤液中往往含有多种重金属离子和较高浓度的 NH_4^+-N ,须采用化学等方法加以必须的预处理乃至后处理,故其运转费用较高;(3) 渗滤液中的营养比例(C:N:P)往往失调,其突出特点是氮含量过高和磷含量不足,需要在处理过程中削减氮而补充必需的磷;(4) 填埋场渗滤液的产量与城市污水处理厂处理规模相比往往较小,因而单独设置小规模的处理系统在运转费用方面缺乏经济上的优越性。

6 结 语

渗滤液有不同的处理方法,应因地制宜地通过技术经济比较后加以合理选择。在经济发达且实际条件许可的情况下,可建设场内独立的完全处理系统;在经济尚不发达的地区则可采用预处理—合并处理的方案;在无力建设处理设施的情况下则可采用回灌与合并处理相结合或直接将渗滤液排入就近城市污水厂合并处理的方案。应该说,场内预处理—场外合并处理是一种较为理想的处理方案。在场内建设物化预处理设施,不仅可大大减轻其后续合并处理对城市污水处理厂的压力,而且物化处理方式运转灵活,

便于根据水质的变化即时调整工艺运行参数。经预处理后的渗滤液汇入城市污水处理厂合并处理则既可借助与城市污水中的营养物质又可合理利用其较大的处理规模而节省运转费用。但采用此方案时,须根据具体情况(渗滤液的日平均产生量、水质及城市污水处理厂的规模)对渗滤液量与城市污水量的混合比例作充分的可行性研究。

7 参考文献

- 1 沈耀良. 城市垃圾填埋场渗滤液处理技术的研究. 博士学位论文. 哈尔滨建筑大学, 1998. 10
- 2 汪慧贞. 固体垃圾填埋场渗滤水的处理. 给水排水, 1988, 14(5): 36~38
- 3 Robinson H. D., et al.. The treatment of leachate from domestic wastes in landfill- I. Aerobic biological treatment of a medium-strength leachate, Water Res., 1983, 17(7): 1537~1548
- 4 China E. S. K., et al.. Stability of organic matter in landfill leachates, Water Res., 1977, 11(1): 225~232
- 5 甲秀英. 垃圾填埋渗滤水的活性污泥法处理. 中国给水排水, 1995, 11(3): 37~40
- 6 Pohland F. G.. Landfill bioreactors: Fundamentals and practice. Water Qual. Inter., 1996, (9/10): 18~22
- 7 Mosher F. A., et al.. Leachate recirculation for rapid stabilization of landfills: Theory and practice. Water Qual. Inter., 1997, (11/12): 33~36
- 8 Knox K.. Leachate treatment with nitrification of ammonia. Water Res., 1985, 19(7): 895~904
- 9 Onay T. T., et al.. In situ nitrogen management in controlled bioreactor landfill. Water Res., 1998, 32(5): 1383~1392
- 10 Townsend T. G., et al.. Leachate-recycle infiltration ponds. JEE, 1995, 121(6): 465~471
- 11 沈耀良. 痕量金属缺乏症引起的污泥丝状菌膨胀及其控制. 重庆环境科学, 1993, 15(6): 20~24
- 12 Monoharan R., et al.. Inferred metal toxicity during the bio-treatment of high ammonia landfill leachate. Water Environ. Res., 1992, 64(7): 858~865
- 13 沈耀良. 垃圾填埋场渗滤液中重金属的去除. 环境保护, 1994, (3): 15~16
- 14 Sletten R. S., et al.. Physical-chemical treatment of landfill leachate for metal removal. Water Res., 1996, 29(10): 2376~2386
- 15 Mott H. V., et al.. Metal precipitation in two landfill leachates. JEE, 1987, 113(3): 476~485

沈耀良 副教授, 博士。发表论文近 70 篇, 主审和主编全国统编教材两本, 出版专著一部。

(收稿日期 1999-10-10)